



Influence d'un bio-adjuvant sur les propriétés mécaniques et la porosité de mortiers

Huan He, Nicolas Serres, Charlotte Munzer, Thierry Meylheuc, Françoise Feugeas

► To cite this version:

Huan He, Nicolas Serres, Charlotte Munzer, Thierry Meylheuc, Françoise Feugeas. Influence d'un bio-adjuvant sur les propriétés mécaniques et la porosité de mortiers. Conférence Matériaux 2014 - Colloque Ecomatériau, Fédération Française des Matériaux (FFM)., Nov 2014, Montpellier, France. hal-01144407

HAL Id: hal-01144407

<https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01144407>

Submitted on 21 Apr 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Influence d'un bio-adjuvant sur les propriétés mécaniques et la porosité de mortiers

Huan He¹, Nicolas Serres^{*1}, Charlotte Munzer¹, Thierry Meylheuc², Françoise Feugeas¹

¹ ICube, INSA de Strasbourg, CNRS; 24 Boulevard de la Victoire, 67084 Strasbourg Cedex, France

* nicolas.serres@insa-strasbourg.fr

² INRA - B2HM, 25 Av de la République, 91300 Massy, France

RESUME: *l'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet d'un nouveau bio-adjuvant sur les propriétés mécaniques et la porosité de mortiers. Différentes concentrations de bio-adjuvant (0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 et 2,5%) ont été ajoutées à des mortiers contenant du ciment CEM I (E/C = 0,5). La résistance en compression, la résistance en flexion, la porosité totale à l'eau et l'imbibition capillaire des mortiers ont été évaluées. Après 120 jours de cure dans l'eau, les mortiers avec 2 et 2,5% de bio-adjuvant présentent des résistances à la compression supérieures à celle des mortiers sans bio-adjuvant. Les essais de porosité totale à l'eau et d'imbibition capillaire des mortiers montrent une faible influence du bio-adjuvant utilisé sur la structure poreuse des mortiers. Cependant, le temps de cure à partir de 30 jours et jusqu'à 120 jours a entraîné une diminution de la cinétique d'imbibition capillaire.*

ABSTRACT: *the purpose of this paper is to examine the influence of a bio-admixture on compressive strength, flexion strength, as well as porosity of mortars at constant water on cement ratio (W/C = 0.5). The results showed that, for a long curing period (120 days), the addition of bioadmixture (2 and 2.5%) leads to an improvement of compressive strength of mortars. The porosity of mortars is not significantly affected by the addition of bioadmixture. However, increasing of curing period caused a decrease of the kinetics of capillary imbibition.*

MOTS-CLÉS: *bio-adjuvant ; mortier ; compression / flexion ; porosité totale à l'eau ; imbibition capillaire.*

KEYWORDS: *bio-admixture; mortar; mechanical strengths; porosity; capillary imbibition.*

1. INTRODUCTION

Les matériaux cimentaires sont actuellement les matériaux les plus utilisés dans le monde [1]. Environ 25 milliards de tonnes de béton sont fabriquées chaque année. En France, 3,5 millions de tonnes de mortiers sont utilisées annuellement [2].

Avec le temps, ces matériaux subissent l'effet de divers facteurs, comme le vent, le soleil, les cycles de gel/dégel, la pluie, le CO₂ atmosphérique... [3]. Les matériaux cimentaires sont également sensibles à la colonisation biologique, qui provoque divers problèmes : esthétique, sanitaires... [4]. En outre, les micro-organismes tels que les bactéries, algues, lichens ou mousses peuvent conduire à la biodégradation ou la biodétérioration des matériaux cimentaires [5].

La plupart des bétons sont adjuvantés afin d'optimiser leur performances d'ouvrabilité, mécaniques et de durabilité. L'utilisation d'adjuvants peut permettre d'améliorer certaines propriétés dans le

volume (porosité...), ou au niveau de la surface (rugosité, composition chimique...) des matériaux cimentaires [6], et ainsi de modifier leur bioréceptivité c'est-à-dire leur capacité à être colonisés par des micro-organismes [7].

Cependant, les adjuvants chimiques présentent certains inconvénients comme celle d'engendrer une pollution environnementale aussi bien lors de leur fabrication que lors de leur utilisation [8]. Compte tenu de ces inconvénients, les bio-adjuvants apparaissent particulièrement intéressants, en raison de leurs propriétés plus respectueuses de l'environnement [9]. Les bio-adjuvants sont des adjuvants dont le principe actif est constitué de polymères biosourcés, de produits issus de substances biodégradables, ou encore de biopolymères. Certaines espèces bactériennes sécrètent des biopolymères tels que des Substances Extra Polymériques comme les ExoPolySaccharides EPS 180 sécrétés par les bactéries *Lactobacillus reuteri*, présentant des propriétés inhibitrices de corrosion pour les aciers au carbone immergés en eau de mer naturelle [10].

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet d'un bio-adjuvant élaboré à partir de substances extra-cellulaires sur les propriétés mécaniques de mortiers ainsi que la porosité de ceux-ci. Dans un premier temps, afin de valider l'utilisation ce produit comme adjuvant au sens de la norme NF EN 480, différentes concentrations de bio-adjuvant (0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 et 2,5%) ont été ajoutées à des mortiers contenant du ciment CEM I (E/C = 0,5) et les résistances mécaniques (compression et flexion) ont été vérifiées. La porosité totale à l'eau et l'imbibition capillaire des mortiers ont également été évaluées.

2. MATERIAUX ET METHODES

2.1. PREPARATION DES ECHANTILLONS

Les mortiers sont constitués d'un mélange de ciment (450 ± 5 g), de sable normalisé (1350 ± 5 g) et d'eau distillée (225 ± 1 g). Le ciment CEM I 52,5 R, produit par la société Holcim (cimenterie d'Altkirch) a été utilisé. Sa composition est indiquée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition chimique de la nuance cimentaire CEM I utilisée dans cette étude.

	CEM I 52,5R	
	Oxydes	% massique d'oxyde
Caractérisation chimique	SiO ₂	20,2
	Al ₂ O ₃	5,0
	Fe ₂ O ₃	3,6
	CaO	63,2
	MgO	1,5
	SO ₃	3,5
	K ₂ O	0,99
	Na ₂ O	0,14
Composition potentielle du Clinker	C3S	63,5
	C2S	17,9
	C3A	7,9
	C4AF	11

Des moules de $40 \times 40 \times 160$ mm³ (dimension des échantillons) ont été utilisés et la procédure de gâchage a été exécutée en suivant la norme EN 206-1. L'adjuvant biologique est ajouté avec les pourcentages suivants : 0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 et 2,5% de la masse de ciment. Le bio-adjuvant utilisé dans cette étude a été développé et produit selon une technique mise au point par l'équipe B₂HM à l'INRA.

Ce bio-adjuvant est assimilé à de l'eau et il est directement incorporé au mélange, en respectant un rapport E/C = 0,5.

2.2. RESISTANCES MECANQUES

Les mortiers ont été conservés 30 et 120 jours en condition de cure normalisée, à température et hygrométrie contrôlées (T = 20°C ; H.R. = 98%). Puis des essais de flexion et de compression ont été réalisés en suivant une procédure normalisée (EN 196-1).

Les essais de résistance en flexion « trois points » ont été réalisés avec une machine de traction bicolonne de sol INSTRON® 3384, équipée du logiciel Bluehill pour l'acquisition des résultats. Cet appareil est équipé d'une cellule de chargement d'une capacité de 150 kN. La précision des mesures de charges est de l'ordre de $\pm 0,5\%$ des valeurs mesurées. Une vitesse de chargement de 1 mm/min a été utilisée, avec une précision de $\pm 0,2\%$. Conformément à la norme EN 196-1, les deux parties cassées des mortiers, obtenues suite à l'essai de flexion ont été utilisées pour réaliser les essais de compression, à l'aide du même équipement INSTRON® 3384. Une vitesse de chargement de 2 mm/min a été utilisée pour mesurer la résistance en compression, avec une précision de $\pm 0,2\%$. Les valeurs de résistances en compression des mortiers ont été obtenues à partir d'une moyenne d'essais réalisés sur 6 résidus de mortiers pour chaque point.

Les résultats de ces essais ont également été analysés statistiquement avec le logiciel SPSS 13.0 (SPSS Inc), avec une fonction statistique bivariée de type ANOVA (analyse de la variance).

2.3. POROSITE TOTALE ACCESSIBLE A L'EAU

La mesure de la porosité totale accessible à l'eau a été réalisée selon la norme NF EN 18-459, sur les extrémités des éprouvettes qui ont été cassées durant les essais de résistance à la compression. Les échantillons ont d'abord été séchés jusqu'à stabilisation de leurs masses (variation de masse inférieure à 0,01%/j), puis placés dans un dessiccateur pendant 12h. Les échantillons sont ensuite placés dans l'eau pour les saturer et immergés pendant 24h. La porosité accessible à l'eau est calculée à partir de la relation (1).

$$P_{eau} = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100 \quad (1)$$

Avec : M_{eau} (pesée hydrostatique), la masse (g) pesée sous l'eau ; M_{air} , la masse pesée dans l'air, lorsque les échantillons sont saturés d'eau et M_{sec} , la masse de l'échantillon sec, pesée dans l'air.

Trois échantillons ont été testés pour chaque concentration de bio-adjuvants et les résultats ont été moyennés.

2.4. IMBIBITION CAPILLAIRE

Les mesures d'imbibition capillaire des mortiers ont été effectuées en respectant la norme EN 480-5, qui précise que les échantillons doivent reposer sur un dispositif permettant à l'eau d'accéder librement à l'ensemble de leur surface inférieure et que le niveau d'eau doit être maintenu pendant tout l'essai entre 2 et 4 mm au-dessus de la base de l'échantillon. Des échantillons issus des éprouvettes cassées lors des essais de résistance à la compression ont également été utilisés.

Le coefficient d'absorption capillaire, A, qui détermine la capacité d'absorption des échantillons à différents instants, a été calculé à partir de la relation (2).

$$A\sqrt{t} = \frac{M_t - M_0}{S} = \frac{\Delta M}{S} \quad (2)$$

Avec : A, le coefficient d'absorption capillaire ($\text{g}/(\text{cm}^2\text{min}^{1/2})$) ; t, le temps (min.) ; M_t , la masse de l'échantillon au temps t (g) ; M_0 , la masse initiale de l'échantillon (g) et S, la surface d'absorption de l'échantillon (cm^2).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. RESISTANCE MECANIQUE A LA COMPRESSION

Les essais de résistance à la compression des mortiers adjuvantés avec des teneurs en bio-adjuvant (BA) comprises entre 0,5 et 2,5%, puis conservés dans l'eau 30 et 120 jours, sont présentés sur la figure 1.

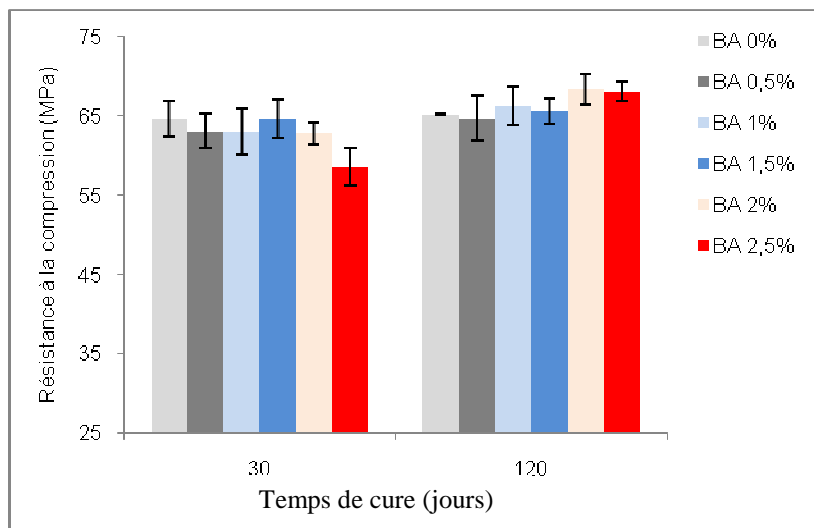


Figure 1 : Résistance à la compression en fonction de la concentration de BA.

La résistance à la compression de ces échantillons est comprise entre 58,6 et 64,6 MPa à 30 jours et 64,7 et 68,3 MPa à 120 jours. Une analyse de la variance de ces résultats a été réalisée, afin de trouver la relation entre la concentration en BA et la résistance à la compression des mortiers (Tableaux 2 et 3).

Tableau 2 : Analyse statistique de la résistance à la compression des mortiers à 30 jours.

Concentration en BA (%)	Résistance à la compression (MPa)	Écart type	Test de l'homogénéité des variances	p
0	64,62	1,54	0,710	-
0,5	63,08	2,22		0,227
1	63,03	2,89		0,234
1,5	64,64	2,43		0,986
2	62,78	1,37		0,151
2,5	58,57 (*)	2,29		0,000 (*)
Moyenne	62,78	2,89		

(*) Une valeur de p (p-value) inférieure à 0,05 signifie qu'il y a une différence significative entre la valeur considérée (ici le mortier adjuvanté à 2,5%) et le groupe témoin.

La figure 1 et le tableau 2 montrent que les résistances en compression des mortiers (après 30 jours de cure) ne sont statistiquement pas différentes pour des concentrations en BA de 0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 et 2%. Cependant, les résultats mettent en évidence que la résistance à la compression diminue à 58,6 MPa pour une concentration en BA de 2,5%. De plus, la valeur de p (p-value), qui indique la probabilité d'obtenir un résultat statistique de l'essai au moins équivalent à la référence (si $p > 0,1$) [11], traduit ici une influence (négative) du bio-adjuvant sur la résistance mécanique des mortiers lorsque sa teneur est trop importante, car $p < 0,01$.

Tableau 3 : Analyse statistique de la résistance à la compression des mortiers à 120 jours.

Concentration en BA	Résistance à la compression (MPa)	Écart type	Test de l'homogénéité des variances	p
0%	65,14	0,098		-
0,5%	64,68	2,87		0,755
1%	66,24	2,37		0,446
1,5%	65,63	1,65	0,058	0,732
2%	68,31 (*)	1,97		0,035 (*)
2,5%	68,09 (*)	1,26		0,049 (*)
Moyenne	66,46	2,34		

(*) Une valeur de p (p-value) inférieure à 0,05 signifie qu'il y a une différence significative entre la valeur considérée (ici le mortier adjuvanté à 2,5%) et le groupe témoin.

Après 120 jours de cure, pour des concentrations en BA comprises entre 0,5 ; 1 et 1,5%, les résistances à la compression des mortiers sont statistiquement équivalentes avec le groupe témoin (BA 0%) (Tableau 3), et présentent une valeur moyenne de $65,3 \pm 1,0$ MPa ($p > 0,05$). En revanche, pour des concentrations en BA de 2 et 2,5%, la résistance à la compression augmente à 68,3 et 68,1 MPa, respectivement et la valeur de p est plus faible ($p < 0,05$). Ces concentrations en BA conduisent à un accroissement de la résistance à la compression des mortiers (pour un temps de cure de 120 jours).

3.2. RESISTANCE MECANIQUE A LA FLEXION

Les résultats des essais de résistance à la flexion pour les mortiers contenant des concentrations en bio-adjuvant comprises entre 0,5 et 2,5%, puis conservées dans l'eau pendant 30 et 120 jours, sont présentés sur la figure 2.

La résistance à la flexion des mortiers contenant des concentrations en BA comprises entre 0,5 et 2,5% varie entre 7,5 et 9,2 MPa après 30 jours et 8,9 et 9,3 MPa après 120 jours. Une augmentation de la concentration en BA de 1,5 et 2% dans les échantillons provoque une croissance d'environ 7% de la résistance à la flexion des mortiers après 30 jours de cure, et environ 3% après 120 jours.

Ces résultats confirment l'influence du bio-adjuvant par rapport à la résistance à la flexion des mortiers. De trop fortes concentrations en BA dans les mortiers ne sont pas toujours favorables pour améliorer la résistance à la flexion, notamment après 30 jours de cure (BA 2,5%). Des concentrations en BA de 0,5 ; 1 ; 1,5 et 2% offrent des résultats équivalents, ou légèrement supérieurs, à ceux obtenus pour le groupe témoin (BA 0%), quel que soit le temps de cure.

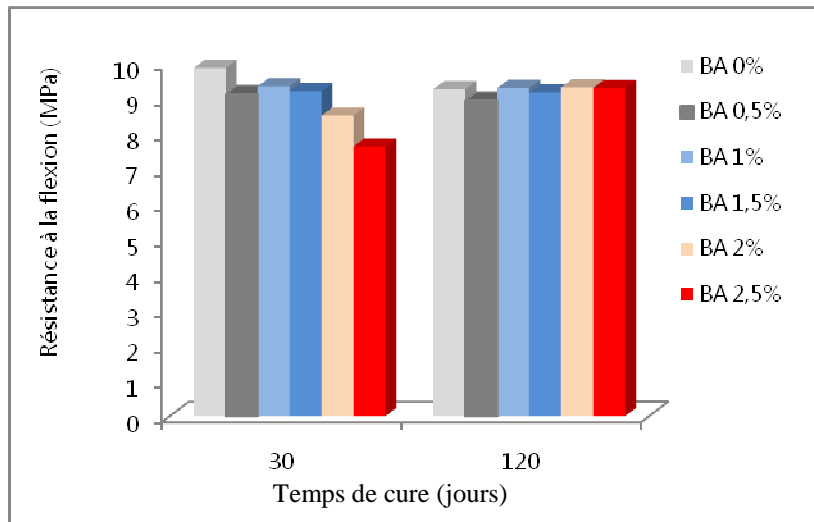


Figure 2 : Résistance à la flexion des mortiers en fonction de la concentration de BA.

3.3. POROSITE TOTALE ACCESSIBLE A L'EAU

Les mesures de porosité totale accessible à l'eau des mortiers ont été réalisées et les résultats sont présentés dans la figure 3. Les échantillons testés sont obtenus suite aux essais de compression : ces mortiers ont donc subi une cure de 30 et 120 jours.

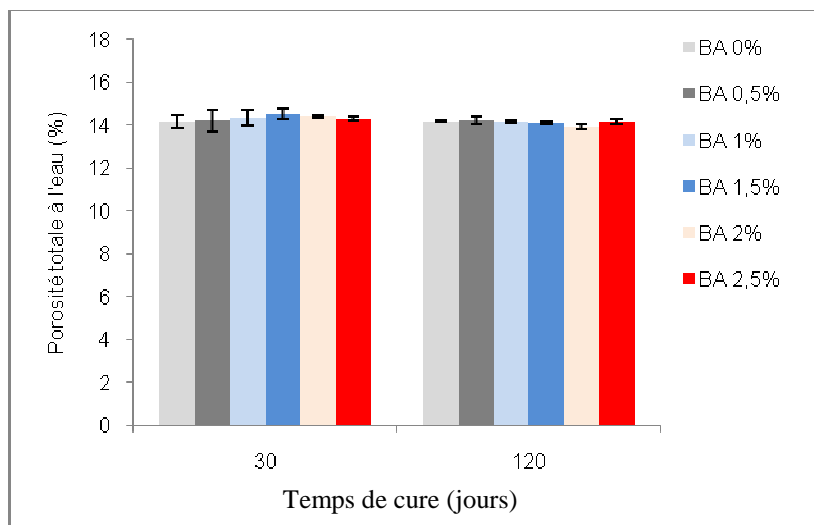


Figure 3 : Porosité à l'eau des mortiers adjuvantés (ou non) en fonction du temps de cure.

La porosité totale accessible à l'eau des échantillons varie entre 13 et 16% (Figure 3). Ces valeurs sont conformes à ce que l'on peut rencontrer dans la littérature [12]. Après 30 jours de cure, la porosité moyenne est de 14,2% ; après 120 jours, elle est de 14,1%. En d'autres termes, ni le temps de cure, ni le bio-adjuvant ne semblent influencer la porosité totale accessible à l'eau des mortiers.

Les résultats ont également été analysés statistiquement par analyse de la variance à un facteur (avec le logiciel SPSS 13.0), afin de comparer les porosités moyennes des mortiers (Tableau 4). Les valeurs de p sont supérieures au seuil significatif de 0,05 ; ce qui traduit une équivalence des résultats entre les mortiers adjuvantés (0,5; 1; 1,5; 2 et 2,5% de BA) et le groupe témoin (BA 0%). En d'autres termes, le bio-adjuvant n'a pas d'effet sur la porosité totale accessible à l'eau des mortiers.

Tableau 4 : Analyse statistique de la porosité totale accessible à l'eau des mortiers.

Cure	Concentration en BA (%)	Porosité totale accessible à l'eau (%)	Écart type	Test de l'homogénéité des variances	p
30 jours	0	14,18	0,27	0,148	-
	0,5	14,22	0,49		0,999
	1	14,33	0,36		0,988
	1,5	14,54	0,26		0,697
	2	14,41	0,08		0,932
	2,5	14,32	0,09		0,991
120 jours	0	14,20	0,02	0,096	-
	0,5	14,22	0,18		0,999
	1	14,17	0,07		0,999
	1,5	14,12	0,07		0,944
	2	13,93	0,11		0,090
	2,5	14,17	0,12		0,999

3.4. IMBIBITION CAPILLAIRE

Les cinétiques d'absorption capillaire des mortiers sont représentées par la variation de la quantité d'eau absorbée en fonction du temps (Figures 4 et 5). Les résultats présentés tiennent compte de la teneur en bio-adjuvant et du temps de cure.

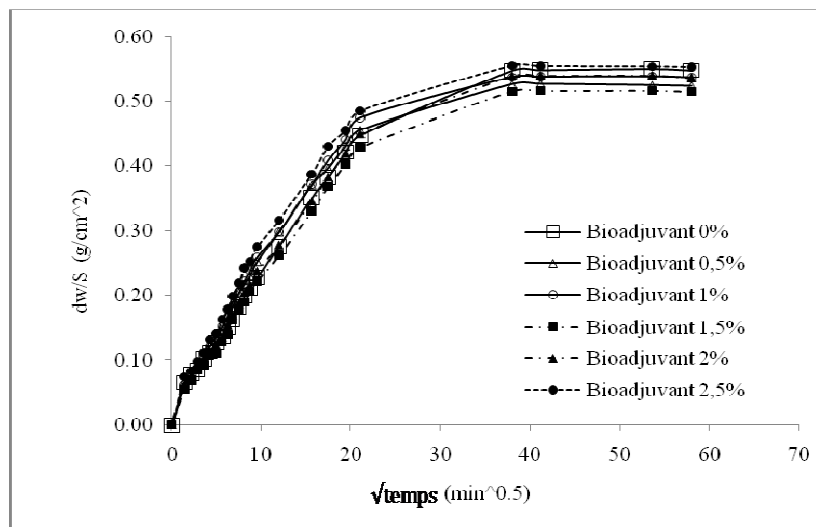


Figure 4 : Relation entre la masse d'eau absorbée et le temps pour les mortiers après 30 j. de cure.

Quel que soit le temps de cure, dès les 30 premières minutes, une relation linéaire s'établit entre la quantité d'eau absorbée et le temps. Par ailleurs, quels que soient les teneurs en adjuvant et le temps de cure, les masses d'eau absorbées par les mortiers se stabilisent après 1600 minutes. Les échantillons montrent un comportement similaire, c'est-à-dire que le bio-adjuvant n'influence pas la géométrie des pores des mortiers. Aucune différence significative n'est observée entre les mortiers adjuvés (0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 et 2,5% en BA) et le groupe témoin (BA 0%). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus pour l'imbibition capillaire de mortiers avec des EPS180 utilisés comme adjuvants [13] : l'effet des ajouts de bioadjuvants (BA) sur l'imbibition capillaire n'était pas détectable sur les

mortiers alors que les courbes d'imbibition capillaire apparaissent nettement modifiées par le BA sur les pâtes cimentaires. Ce type d'adjuvants influe sur la porosité des pâtes de ciments et non sur celle des mortiers. Pour ceux-ci, la présence de sable induit l'existence de zones de transition intergranulaire (ZTI) et la formation d'une famille de porosité dont les seuils d'accès sont compris entre 0,1 μm et 4 μm [14], qui ne se retrouve pas dans les pâtes de ciment dont les seuils d'accès aux pores sont inférieurs au micromètre et majoritairement inférieurs à 0,1 μm [4]. La famille de porosité liée aux ZTI est fortement connectée et offre aux phases liquides et aqueuses de nombreuses voies d'entrée du réseau poreux. Les quantités de BA ajoutées à la gâchée semblent donc trop faibles pour modifier le comportement à l'imbibition capillaire et la porosité totale accessible à l'eau des mortiers. Les résultats concernant les performances mécaniques, liées à la porosité des échantillons, sont en accord avec ces résultats puisqu'ils ne sont pas influencés par les ajouts de BA à 30 jours de cure.

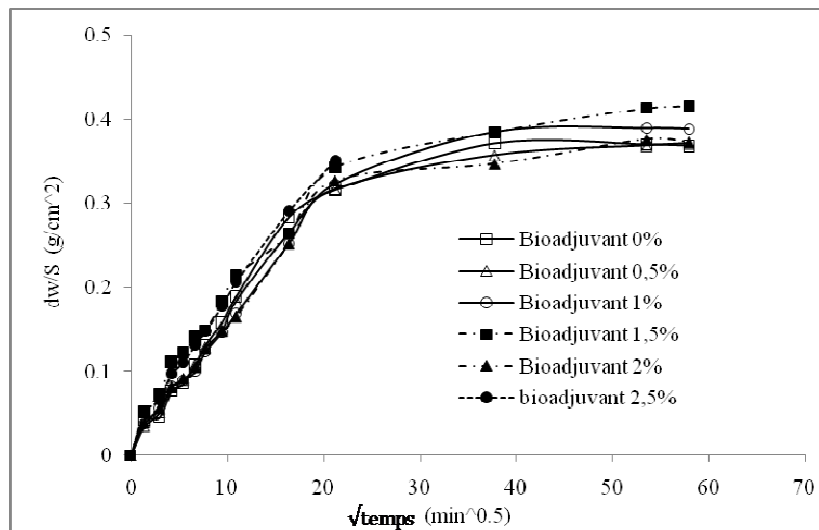


Figure 5 : Relation entre la masse d'eau absorbée et le temps pour les mortiers après 120 j. de cure.

Tableau 5 : Comparaison des coefficients d'absorption A des mortiers.

Concentration en BA (%)		Equation $M_s = A\sqrt{t}$	$A[\text{g}/(\text{cm}^2\text{min}^{1/2})]$	R^2
30 jours	0	$y = 0,0234x$	0,0234	0,99
	0,5	$y = 0,0255x$	0,0255	0,96
	1	$y = 0,0257x$	0,0257	0,95
	1,5	$y = 0,0224x$	0,0224	0,97
	2	$y = 0,0237x$	0,0237	0,97
	2,5	$y = 0,0273x$	0,0273	0,93
120 jours	0	$y = 0,0162x$	0,0162	0,98
	0,5	$y = 0,0158x$	0,0158	0,99
	1	$y = 0,0154x$	0,0154	0,98
	1,5	$y = 0,0175x$	0,0175	0,88
	2	$y = 0,0155x$	0,0155	0,99
	2,5	$y = 0,0174x$	0,0174	0,96

Le tableau 5 résume les coefficients d'absorption des mortiers contenant différentes concentrations en BA et analysés après différents temps de cure. Ces coefficients d'absorption sont respectivement de $0,025 \pm 0,002 \text{ g}/(\text{cm}^2\text{min}^{1/2})$ et $0,016 \pm 0,001 \text{ g}/(\text{cm}^2\text{min}^{1/2})$, après 30 et 120 jours de cure. Après 30 jours de cure, les mortiers ont les coefficients d'absorption capillaire les plus élevés par rapport à 120 jours. Le temps de cure à partir de 30 jours et jusqu'à 120 jours a entraîné une modification du réseau poreux.

4. CONCLUSIONS

Après 30 jours de cure, les résistances en compression des mortiers ne sont statistiquement pas différentes pour des concentrations en BA de 0 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 et 2%. Cependant, après 120 jours de cure dans l'eau, les mortiers avec 2 et 2,5% de bio-adjuvant présentent des résistances à la compression supérieures à celle des mortiers non adjuvantés.

Les résistances à la flexion des mortiers avec des concentrations en bio-adjuvant comprises entre 0 et 2,5% sont comparables. Après 30 jours de cure, l'ajout de 2,5% de bio-adjuvant a diminué significativement la résistance à la flexion des mortiers. Toutefois, après 120 jours de cure, aucune différence significative n'a été détectée entre les mortiers quelle que soit la teneur de bio-adjuvant.

Les essais de porosité totale à l'eau et d'imbibition capillaire des mortiers montrent une faible influence du bio-adjuvant sur la structure poreuse des mortiers. Cependant, le temps de cure à partir de 30 jours et jusqu'à 120 jours a entraîné une diminution de la cinétique d'imbibition capillaire, qui peut s'expliquer par des capillaires plus gros et/ou moins interconnectés, même si en parallèle, la porosité totale à l'eau reste identique. Des essais d'imbibition capillaire et de mesures de porosité par intrusion de mercure sont en cours pour des échantillons de pâte cimentaire adjuvantés. Ils mettront en évidence l'effet du bioadjuvant employé sur la géométrie de la porosité à l'échelle du ciment et les effets des temps de cure seront analysés avec une mise en évidence des potentiels effets de ces produits sur l'hydratation des silicates de calcium.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient chaleureusement l'ANR ainsi que les pôles de compétitivité ENERGIVIE, HYDREOS et ADVANCITY pour le soutien financier de cette étude.

REFERENCES

1. P. Ghosh, S. Mandal, B. D. Chattopadhyay, S. Pal, *Use of microorganism to improve the strength of cement mortar*, Cement and Concrete Research 35 (10) (2005) 1980-1983
2. T. Poinot, *Influence des hydroxypropylguars sur les propriétés des mortiers de ciment à l'état frais*, thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne (2013)
3. M. Daoud, *Influence des conditions climatiques sur l'état des contraintes dans une structure hydraulique en béton*, thèse de doctorat de l'Université de Sherbrooke (1997)
4. S. Roux, *Évaluation des risques de biodégradation des bétons en contact avec une eau douce naturelle*, thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur - Strasbourg I (2008)

5. A. Z. Miller, P. Sanmartin, L. P. Pardo, A. Dionisio, C. S. Jimenez, M. F. Macedo, B. Prieto, *Bioreceptivity of building stones: a review*, Science of the total environment 426 (2012) 1-12
6. A. Yahia, M. Tanimura, A. Shimabukuro, Y. Shimoyama, *Effect of rheological parameters on self-compactability of concrete containing various mineral admixtures*, International RILEM symposium on self-compacting concrete (1999)
7. O. Guillitte, *Bioreceptivity: a new concept for building ecology studies*, Science of the total environment 167 (1-3) (1995) 215-220
8. J. Plank, *Applications of biopolymers and other biotechnological products in building materials*, Applied microbiology and biotechnology 66 (1) (2004) 1-9
9. W. J. Orts, A. R. Espinosa, R. E. Sojka, G. M. Glenn, S. H. Imam, K. Erlacher, J. S. Pedersen, *Use of synthetic polymers and biopolymers for soil stabilization in agricultural, construction, and military applications*, Journal of materials in civil engineering 19 (2007) 58-66
10. A. Heyer, F. D. Souza, C. F. Leon Morales, G. Ferrari, J. M. C. Moi, J. H. W. de Wit. *Ship ballast tanks a review from microbial corrosion and electrochemical point of view*, Ocean Engineering 70 (2013) 188-200
11. S. N. Goodman, *Toward evidence-based medical statistics. 1: The P value fallacy*, Annals of internal medicine 12 (1990) 995-1004
12. S. Maria, *Methods for porosity measurement in lime-based mortars*, Construction and Building Materials 12 (2010) 2572-2578
13. S. Roux, N. Bur, B. Tribollet, F. Feugeas, *Comment améliorer la durabilité de bétons plus éco-respectueux grâce à des polymères bactériens*, Matériaux & Techniques 99 (5) (2011) 573-580
14. J.-P. Ollivier, J.-M. Torrenti, *La structure poreuse des bétons et les propriétés de transfert*. La durabilité des bétons, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (2008), n° ISBN : 978-2-85978-434-8, pp. 51-133